



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1543685 B

(45) 授权公告日 2010.04.28

(21) 申请号 02816168.8

(22) 申请日 2002.07.18

(30) 优先权数据

60/305,865 2001.07.18 US

60/305,866 2001.07.18 US

(85) PCT申请进入国家阶段日

2004.02.18

(86) PCT申请的申请数据

PCT/IL2002/000596 2002.07.18

(87) PCT申请的公布数据

W02003/009410 EN 2003.01.30

(73) 专利权人 特拉维夫大学未来技术发展有限
合伙公司

地址 以色列特拉维夫

(72) 发明人 伊曼纽尔·皮莱德

泰尔·杜维德万尼 阿尔农·布卢姆

弗拉基米尔·利夫希茨

艾迪·阿哈龙

(74) 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038

代理人 王永刚

(51) Int. Cl.

H01M 8/04 (2006.01)

H01M 4/86 (2006.01)

H01M 8/10 (2006.01)

H01M 16/00 (2006.01)

G01F 23/24 (2006.01)

H01M 8/24 (2006.01)

H04M 1/02 (2006.01)

H01M 8/02 (2006.01)

H04B 1/38 (2006.01)

C10L 7/02 (2006.01)

(56) 对比文件

US 4612261 A, 1986.09.16, 说明书第4栏第
6行-第6栏第45行、附图4和5.

CN 1251212 A, 2000.04.19, 说明书第11页
第3段-第12页第3段和附图7.

CN 1201554 A, 1998.12.09, 权利要求14-
23、37-43、说明书第1页第2段、第10页第3段-
第11页第3段和第17页第2段-第18页第2
段.

审查员 伍俊霞

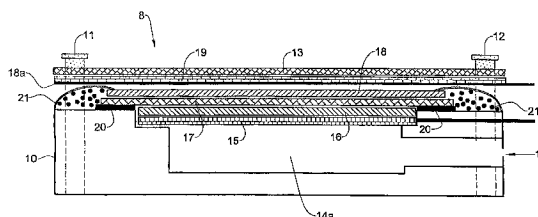
权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 5 页

(54) 发明名称

具有质子传导膜和改进的水和燃料管理的燃
料电池

(57) 摘要

本发明提供一种阴极和燃料电池,它们构成
为防止液体如水和燃料溶液从电池中流出。因此,
根据本发明的第一方案,本发明提供一种适于在
具有质子传导膜的燃料电池中使用的阴极,该阴
极包括多个层,这些层包括催化剂层和疏水性多
孔支撑层,其中所述多个层的至少一层是防液态
水泄漏层,该层允许气体通过、防止液态水和/或
含水燃料溶液穿过。



1. 一种具有阳极、亲水性的质子传导膜、以及阴极的膜电极组件,该阴极包括多个层,这些层包括催化剂层和疏水多孔支撑层,其中所述多个层的至少一层是防液态水泄漏层,该层能够允许气体经过并防止液态水和 / 或含水的燃料溶液从阴极催化剂层向阴极的空气侧通过并到达燃料电池外部,其中所述防液态水泄漏层是具有尺寸在 $0.001\ \mu\text{m}$ 和 $5\ \mu\text{m}$ 之间的孔或裂缝、而没有大于 $5\ \mu\text{m}$ 的裂缝或孔的疏水层。

2. 根据权利要求 1 的膜电极组件,具有防止液体从所述膜电极组件中漏出的密封件。

3. 根据权利要求 2 的膜电极组件,其中所述密封件位于阴极边缘和质子传导膜之间。

4. 根据权利要求 2 或 3 的膜电极组件,其中密封件位于质子传导膜的边缘上。

5. 根据权利要求 1 的膜电极组件,其中所述亲水性的质子传导膜由包括聚合物粘合剂和无机粉末的材料制成,所述聚合物粘合剂从聚偏氟乙烯 (PVDF)、聚四氟乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯中选出,所述无机粉末从 SiO_2 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 Al_2O_3 和 B_2O_3 中选出。

6. 一种包括燃料电池的燃料电池配置,该燃料电池包括根据权利要求 1 ~ 5 的任一项所述的膜电极组件。

7. 根据权利要求 6 的燃料电池配置,其中所述燃料电池是被供给燃料的直接氧化燃料电池,所述燃料从氢和水溶性的燃料中选择。

8. 根据权利要求 7 的燃料电池配置,其中所述水溶性的燃料从甲醇、草酸二甲酯、乙二醇、乙二醇的低聚物和聚合物、以及它们的混合物中选出。

9. 根据权利要求 7 或 8 的燃料电池配置,其中所述水溶性的燃料包含增加燃料溶液粘性的添加剂。

10. 根据权利要求 9 的燃料电池配置,其中所述添加剂是惰性聚合物材料。

11. 根据权利要求 10 的燃料电池配置,其中所述添加剂包括从聚丙烯酸和聚丙烯酸的碱金属盐中选出的化合物。

12. 根据权利要求 6 ~ 8 的任一项所述的燃料电池配置,其中所述燃料电池包括防止液体从所述燃料电池中漏出的密封装置。

13. 根据权利要求 12 的燃料电池配置,其中所述燃料电池包括:两个支撑板,一组叠层夹在所述两个支撑板之间;围绕阴极的衬垫;以及对在衬垫和该组叠层中至少一层之间的任意缝隙进行密封的密封材料。

14. 根据权利要求 6 ~ 8 的任一项所述的燃料电池配置,包括用于控制水从所述燃料电池中蒸发的装置。

15. 根据权利要求 6 ~ 8 的任一项所述的燃料电池配置,包括用于防止在所述燃料电池的工作过程中在阴极上形成水压的装置。

16. 根据权利要求 14 燃料电池配置,其中所述阴极具有面对质子传导膜的第一侧和面对集流体的第二侧,用于控制水从电池中蒸发的所述装置包括向阴极的第二侧上施加 airflow 以从中去除水蒸汽的装置。

17. 根据权利要求 16 的燃料电池配置,其中用于施加空气流的所述装置是鼓风机。

18. 根据权利要求 17 的燃料电池配置,其中所述鼓风机通过由所述燃料电池产生的电能供电。

19. 根据权利要求 14 所述的燃料电池配置,其中用于控制水从电池中蒸发的所述装置包括液位检测器。

20. 根据权利要求 14 所述的燃料电池配置,其中用于控制水蒸发的所述装置包括用于控制部分阴极表面区域的装置,蒸汽会通过该区域蒸发。

21. 根据权利要求 20 的燃料电池配置,其中所述控制装置包括蒸发阻挡层,该阻挡层具有尺寸可变的孔。

22. 根据权利要求 21 的燃料电池配置,其中所述阻挡层包括固定穿孔层和滑动穿孔层,其中蒸汽可由此蒸发的所述部分阴极区域是由滑动穿孔层相对于固定穿孔层的位置确定的。

23. 根据权利要求 22 的燃料电池配置,其中各个所述穿孔层具有 $0.5-10$ 个孔 / cm^2 。

24. 根据权利要求 18 或 19 的燃料电池配置,其中蒸汽可由此蒸发的所述部分阴极区域为阴极区域的 $0.2-70\%$ 。

25. 根据权利要求 24 的燃料电池配置,其中所述部分为阴极区域的 $2-30\%$ 。

26. 根据权利要求 22 所述的燃料电池配置,其中所述滑动层相对于所述固定层的位置由包括液位检测器的控制装置进行控制。

27. 根据权利要求 19 所述的燃料电池配置,其中所述液位检测器包括含有液态介质的封闭容器,并包括具有间隔开的电极的电极配置,各电极与容器的内部空间接触,所述电极配置可通过施加电压进行工作,以检测在容器中是否有所需量的介质。

28. 根据权利要求 27 的燃料电池配置,其中电极这样设置:使得它们能够在几个不同的液位检测容器内部介质的存在,由此提供与容器在空间中的取向无关的检测结果。

29. 根据权利要求 27 的燃料电池配置,其中所述电极配置由至少四个电极构成,这样安排这些电极:至少两个电极存在于容器中可由经过容器的中央区域的虚线彼此连接的位置处。

30. 根据权利要求 29 的燃料电池配置,其中容器是六面封闭结构,各电极靠近容器的不同角放置。

31. 一种混合电源,包括 DC- 至 -DC 转换器、可充电电池和至少一个根据权利要求 6 ~ 30 的任一项所述的燃料电池配置。

具有质子传导膜和改进的水和燃料管理的燃料电池

技术领域

[0001] 本发明一般涉及燃料电池,更具体涉及具有固体、质子传导膜的燃料电池。

背景技术

[0002] 燃料电池是电化学装置,其中,氢或有机燃料与氧反应以产生电能和水。送入燃料电池的反应物不一定是纯的,氧可以从大气中提取,氢可以从天然或合成燃料中提取。基本的燃料加工是有效且无污染的。然而,由于单个燃料电池产生了输出低于 1 伏,因此为了提供有用的输出,需要将一组电池串联连接成叠层或扁平形式,以构成电源组。

[0003] 作为能量的转化器,燃料电池与常规伏打电池或其中阳极和阴极与电解质合作的电池不同,在燃料电池中电极是不变的和催化活性的。通过在电极表面上与电解质的反应而在燃料电池中产生电流。这些反应包括 (i) 在用作负极的阳极上氢或有机燃料的氧化,如在原电池中,生成水合质子、释放电子, (ii) 在阴极上氧的还原并随着电子的消耗产生水。

[0004] 第一种应用于实践的燃料电池是由与 Gemini 计划有关的 NASA 的 General Electric (GE) 研制的。在此电池中所含的电解质是以被称作“离子交换膜”的固体聚合物膜的形式。GE 膜由带状的有机结构构成,离子基牢牢地结合其上,氢离子松散地保持在聚合物链中,从而提供离子载体的有效迁移。

[0005] 在美国专利 5,599,638 和 5,777,162 中公开了具有聚合物膜的燃料电池。通常所用的具有质子交换性能的材料是由 DuPont 制造的 Nafion™。当甲醇用作燃料,在阳极发生甲醇的电氧化,然后在阴极发生氧的电还原,由此产生水。在阳极产生的质子直接穿过薄膜传输到阴极。通过流过电池的离子和流过外部负载的电子维持电流的流动。

[0006] 在同一申请人的 PCT 公开文本 WO 99/44245 中公开了在根据本发明的燃料电池中所含类型的固体质子传导膜 (PCM)。在此膜中采用的是聚合物粘合剂,这些聚合物粘合剂从聚偏氟乙烯 (PVDF)、聚四氟乙烯和聚甲基丙烯酸甲酯中选出。用于制备此膜的无机粉末包括 SiO₂、ZrO₂、TiO₂、Al₂O₃ 和 B₂O₃。

[0007] 在同一申请人的 PCT 公开文本 WO 01/54216 中公开的燃料电池作为原有技术也值得一提。该电池包括向其供应燃料的阳极室和向其供应氧气的阴极室。在两室之间插入的是以质子传导膜形式的固体电解质,所述质子传导膜具有细孔,其直径小于 30nm。

[0008] 在氢和直接氧化燃料电池 (DOFC) 中,液态水易于通过阴极泄漏。此水可包括燃料,导致了燃料和水的损失。液态水通过具有固体电解质膜如 Nafion™ 的燃料电池的阴极的泄漏现象可以是严重的,这是由于水的渗透阻力 (osmotic drag) 约为每个质子三个水分子,或者对于每个甲醇分子约为十八个水分子。这 (如果所有水流出阴极) 导致了在电池反应中消耗的每一克甲醇高达 10g 水的损失。由质子的水的渗透阻力会导致在此阴极的催化剂层处形成水压。这增加了液态水或含水燃料溶液通过在阴极的气体扩散层 (GDL)、通过膜的边缘或外围、以及通过在阴极-固体膜-阳极组件 (在本领域中也称作“膜电极组件”或 MEA) 和电池的环形衬垫 (circular gasket) 之间的裂缝的泄漏。

发明内容

[0009] 鉴于上述原因,本领域中需要提供一种具有改进的水和燃料控制机构的新型高效燃料电池。这样,本发明提供一种改进的燃料电池,该燃料电池采用夹在阳极层和阴极层之间的质子传导膜并包括防止或充分减少水从电池中泄漏的系统。本发明还提供在具有防止或充分减少水从电池中泄漏的系统的燃料电池中的装置,该装置减少了在工作过程中在阴极形成的水压。

[0010] 简言之,上述特点由根据本发明的阴极和燃料电池所获得,该特点是防止了液体例如水和燃料溶液从电池中的泄漏。本发明的燃料电池包括多个叠层,在此,质子传导膜用作固体电解质并夹在阳极层和防漏水的阴极层之间。将氢或有机燃料送入电池中以与阳极层反应,将含氧空气送入电池中以与阴极层反应。

[0011] 根据本发明,由下述装置防止或充分减少液体例如水和含水燃料溶液从电池中的损失:

[0012] i) 在膜电极组件(MEA)的边缘和围绕它的衬垫之间的密封材料如胶粘剂或密封胶结料;

[0013] ii) 密封质子传导膜边缘的密封材料;和

[0014] iii) 防液态水泄漏层,该层设置在PCM和阴极集流体之间的任意位置。这种防液态水泄漏层是疏水性的并且有孔,所述孔大到足以使空气或氧通过它传输到催化剂层并且小到足以防止液体从阴极侧向燃料电池外部的传输。一般来说,这些条件要求孔大于0.001微米,优选大于0.01微米并小于5微米,优选小于0.5微米。

[0015] 因此,根据第一方案,本发明提供一种适于在具有质子传导膜的燃料电池中采用的阴极,该阴极包括多个层,这些层包括催化层和疏水多孔支撑层,其中所述多个层的至少一层是防液态水泄漏层,该层允许气体经过,防止液态水和/或含水燃料溶液经过。

[0016] 根据本发明的一种实施方式,催化剂层是用作防液态水泄漏层的层。根据另一种实施方式,该防漏层嵌入疏水多孔支撑层中或直接提供在PCM和阴极的催化剂层之间的催化剂层上。

[0017] 本发明还提供一种由阳极、固体电解质膜和上述防液态水泄漏阴极构成的组件。下面将这种组件称作“膜电极组件”(MEA)。固体电解质膜通常称作质子传导膜(PCM),该术语用于涵盖质子交换膜如Nafion™和质子传导膜例如在W001/54216中描述的那些。

[0018] 根据本发明,通过采用能够防止水和/或含水燃料溶液流过的密封材料密封MEA的边缘,防止或充分减少了液态水和燃料溶液通过MEA的外围侧表面(即边缘)的溢出。这种密封材料的非限定性例子是胶粘剂和密封胶结料。

[0019] 作为优选,该密封位于阴极边缘和质子传导膜之间,以及在质子传导膜的边缘上。

[0020] 包括本发明的阴极或MEA的燃料电池或燃料电池配置也在本发明的范围内。可采用本发明阴极的燃料电池的具体例子是直接氧化燃料电池(DOFC)。优选燃料是当用作燃料电池中的燃料时超过80%转化为CO₂、仅剩下可忽略数量的不挥发副产物的那些。这种燃料的例子是氢、甲醇、草酸二甲酯、乙二醇、以及乙二醇的低聚物和聚合物。

[0021] 燃料可选择性地包含在约0.1%-10w/w百分比之间的添加剂,添加剂增加了燃料溶液的粘性。这些添加剂优选为惰性聚合物材料,不干扰电池的工作,但将燃料溶液通过

DOFC 的密封和通过 MEA 的泄漏降至最低,这是因为添加剂提高的溶液的粘性直至形成凝胶。这些添加剂的例子是聚丙烯酸酯,如聚丙烯酸和聚丙烯酸的碱金属盐。

[0022] 本发明的燃料电池包括:在它们之间夹有一组叠层的两个支撑板;围绕阴极的衬垫;以及对在衬垫和该组叠层中各层的至少一层之间的任何裂缝进行密封的密封材料。

[0023] 因为具有根据本发明的防漏阴极的燃料电池基本上不存在水的损失,所以可以使水从阴极返回到含水燃料溶液箱,这样对于附加燃料不留空间。这种情况对于利用亲水质子传导膜的电池更为频繁,例如在 WO 01/54216 中描述的那些,对于利用疏水质子传导膜如可商用 Nafion™ 的电池就不那么频繁。因此,根据本发明的再一实施例,本发明的燃料电池装配有用于控制水从电池中蒸发的装置。这种装置可以促进水从电池中的蒸发,由此减少返回到燃料溶液箱的水量。本发明的燃料电池还可装配有用于防止在电池工作过程中在阴极上形成水压的装置。这种装置特别适用于采用疏水质子传导膜的燃料电池中。一般来说,这种装置包括水收集器,以收集汇聚在阴极上的水和溶液。水收集器可连接到排水管,排水管使水流到电池之外。然后根据燃料溶液箱中液位的需要将该水引向周围环境或返回到燃料溶液箱中。水收集器例如可以是一组压在要收集水的阴极表面上的亲水性通道,或者可以是放在要收集水的位置上的一组亲水纤维,如棉纤维。

[0024] 通过将空气流施加在阴极的外侧上,可以实现水从电池中的蒸发。这可以借助例如吹风机或压缩机进行。在一种实施方式中,空气由电池的氧流动通道压缩,该氧流动通道的流量不仅足以供给与氧的反应,而且促进从电池中的蒸发。在利用吹风机的情况下,吹风机优选由燃料电池产生的电能驱动。

[0025] 必要时,通过减少蒸汽可由此蒸发的该部分阴极表面区域,可减少水从燃料电池中的蒸发。用于控制蒸汽可由此蒸发的该部分阴极表面区域的配置是根据本发明的一种实施方式构成的,该实施方式中采用具有可变尺寸的孔的阻挡层。根据非限定性例子,这种阻挡层由固定穿孔层和滑动穿孔层构成,其中蒸汽可由此蒸发的该部分阴极区域是由滑动穿孔层相对于固定穿孔层的位置确定的。各穿孔层分别具有 0.5-10 个孔/每平方厘米,在封闭和打开位置孔覆盖阴极区域的 0.2-70%,更优选,覆盖该阴极区域的 2-30%。

[0026] 根据本发明的另一实施方式,提供一种混合电源,该电源包括至少一个根据本发明的燃料电池、DC- 至 -DC 转换器和可充电电池。该燃料电池对可充电电池充电并且在高功率电池供应重负载的同时供应低功率需要。在这种混合电源中,可以将尽可能少的两或三个燃料电池(串联连接)通过 DC- 至 -DC 转换器结合到电池上,所获得的装置是扁平且薄的。例如,为了驱动便携式电话,可以采用由串联连接的两个薄甲醇燃料电池、DC- 至 -DC 转换器和小型高功率锂离子电池构成的混合电源。

[0027] 根据另一方案,本发明提供一种检测器,该检测器能够在器具位置不固定的情况下例如移动设备检测在器具中是否存在所需量的液体。应理解,这种器具(容器)是含有液体介质的封闭结构,例如用于向另一装置中提供液态介质以使其工作。考虑到燃料电池的应用,这种容器是下面至少一种的贮存器:水、燃料、燃料溶液和酸,并用于将该介质供应给燃料电池。在以下的描述中,将这种介质容器称作“燃料箱”或“燃料溶液箱”,但应理解,此术语的采用并不将本发明限定于介质和器具的这种具体实施例。

[0028] 检测器包括电极配置(优选由至少四个电极构成),这些电极以空间分离的关系设置在容器中以便与容器的内部空间接触,并与燃料溶液箱的内表面分开或与该内表面物

理接触,这样它们能够以由电极数量也就是电极对的数量确定的平面(液位(levels))的数量检测出箱中液体的存在。例如,利用四个电极,设置六对电极,在箱中确定六个不同的平面(液位)。和箱的中心区域相比,优选电极更接近于该箱的外围区域设置。例如,该箱可以是盒状的,各电极(优选为至少四个)放置在该箱的不同侧上或接近于不同侧。因此,在该箱的各个取向上,箱中预定量的液体将满足至少部分地覆盖至少两个电极。通过向电极对上施加电压,检测这些电极的至少一个是否与腔中的液态介质接触,从而检测出在由这些电极对限定的平面(液位)处液体的存在。当箱中的液位低于所述预定量(由特定的阈值限定)时,该检测器将检测出液体的缺乏。

[0029] 根据本发明的另一方案,提供一种非堆叠型燃料电池系统,其中,在系统中相邻的电池具有共用壁或者它们的燃料箱具有共用壁,从而使在系统中挥发性燃料的浓度达到平衡。

[0030] 根据另一方案,本发明提供一种便携式电话,包括天线、耳机、燃料电池、燃料箱和水箱,其中燃料电池、燃料箱和水箱的至少一个位于所述天线和所述耳机之间,这样,由天线发出的至少部分辐射由所述燃料电池、燃料箱和/或水箱吸收。

附图说明

[0031] 为了更好地理解本发明并弄清如何将其应用于实践,现在参考附图、仅借助非限定性例子来描述某些具体实施方式,其中:

[0032] 图 1A 示意性表示根据本发明一种实施方式的燃料电池。

[0033] 图 1B 示意性表示根据本发明的燃料电池的另一实施方式的横截面。

[0034] 图 2 是用于促进从图 1A 中所示类型的燃料电池中水的蒸发的配置的框图。

[0035] 图 3 表示燃料电池的排水系统;

[0036] 图 4 表示排水组件;

[0037] 图 5 以截面方式示出根据本发明一种实施方式的阴极结构;

[0038] 图 6 示意性地表示根据本发明一种实施方式、具有用于控制从中蒸发的装置的燃料电池;

[0039] 图 7 表示根据本发明的另一实施方式、具有用于控制从中蒸发的装置的燃料电池;

[0040] 图 8 示意性表示四电极液位检测器;和

[0041] 图 9 是描述根据本发明并在本领域的状态下、 $150\text{mA}/\text{cm}^3$ 时水流量与氧流速的关系的曲线。

具体实施方式

[0042] 防漏水阴极结构:

[0043] 图 1A 示意性地表示出根据本发明的一种实施方式的燃料电池 8。该燃料电池 8 具有根据本发明的防液态水泄漏阴极结构。该电池由多个层堆叠而成,所述多个层的叠层通过在壳体 10 中的完全对置的孔中所容纳的一对螺栓 11 和 12 紧固到塑料壳 10 的表面上。在该叠层中,最上面的过滤层 13 位于电池的阴极侧集流体上,用作空气和湿度控制层。在经过壳 10 中的入口 14 送入电池阳极侧的是有机燃料、含水燃料溶液或氢,在有机燃料的直

接氧化的情况下它们与氧反应,产生电能并生成水和 CO_2 。

[0044] 入口 14 将进入的燃料送入燃料箱 14a 中,到达所述叠层的最下层 15,该层 15 用作阳极集流体。层 15 位于阳极层 16 的下面,紧靠阳极层 16 之上是质子传导膜 17 (PCM)。位于膜 17 之上的是阴极层 18 和阴极集流体 18a。因而,质子传导膜 17 夹在燃料电池的阳极和阴极之间。阴极层 18 包括催化剂、防液态水泄漏层和疏水性多孔碳支撑层。在阴极集流体 18a 的上面是多孔疏水阻挡膜 19,该阻挡膜 19 位于空气过滤层 13。通过胶粘剂层 (20) 密封在 PCM17 和壳体 10 之间的任何裂缝。还示出的是胶粘剂层 21,该层 21 防止水从阴极 18 和壳体 10 之间的任何地方泄漏。在图中层 18 和 18a 之间的裂缝看上去要大于在该叠层中其它层之间的裂缝,这是由于需要表示出胶粘剂层 21。但实际上,所有层 (包括 18 和 18a) 压在一起,在它们之间没有任何看得到的空间。

[0045] 图 1B 描述具有另一种层结构的燃料电池 30,一般为作为其中多个电池串联堆叠的多电池堆的一部分的单个电池。电池 30 包括阳极 (31)、质子传导膜 (33)、根据本发明的防液态水泄漏阴极 (32)、阳极侧衬垫 (34) 和阴极侧衬垫 (35)。燃料电池 30 还包括密封在阴极边缘和衬垫 35 之间裂缝 36 的密封件 37 (仅在一侧上示意性示出,但实际上存在于阴极和衬垫之间的所有裂缝上) 和密封质子传导膜 33 边缘的密封件 38。本发明不限于密封上述位置,应类似地密封会观察到水泄漏的电池中的各位置。上述密封件与防液态水泄漏阴极的结合使得在 $7\text{cm}^2\text{DMFC}$ 的跨接 (cross-over) 电流中的降低超过 20%,因此在提高燃料电池效率方面起到重要作用。

[0046] 用于根据本发明的密封的优选密封材料是 PVDF、聚丙烯酸胶粘剂、焦油基胶结料和硅-橡胶胶结料,所有这些材料不可透过液态水。但也可以采用可与燃料溶液和氧相容的其它密封材料。

[0047] 根据本发明,通过采用防液态水泄漏的阴极和通过密封在阴极和围绕阴极的衬垫之间的裂缝,不仅可以减少由于质子渗透阻力达到零所引起的水损失,而且甚至可以根据在燃料电池工作过程中在阴极中形成的压力逆转水流的方向以形成从阴极通过膜到达阳极的净 (net) 流动。这对于在便携式器具中的小 DOFCs 尤为重要。

[0048] 现在参考商用阴极如 Etek Elite 解释在本发明中的防液态水泄漏层和它们的应用,在商用阴极如 Etek Elite 中,气体扩散层 (GDL) 包含其宽度或直径高达 25 微米的裂缝和孔。液态水通过这些裂缝泄漏到阴极外侧 (空气侧)。借助由实际上没有大于 5 微米的孔和裂缝、但仍具有大于 0.001 微米的孔以使空气或氧传输到催化剂层的疏水层构成的防液态水泄漏层,消除或显著减少了这种泄漏。在防漏层中的这些孔的优选尺寸在 0.01 和 0.5 微米之间。

[0049] 根据本发明的防液态水泄漏层可以在 PCM 和阴极的空气侧之间的任何地方。

[0050] 在某些情况下,催化剂层是防液态水泄漏层。在此情况中,它典型具有 10-100 微米的厚度并且没有大于 3 微米的裂缝或孔,它直接设置在该膜上并在该膜和阴极的多孔支撑层之间。

[0051] 作为选择,类似结构的 Nafion 层直接位于在 PCM 和阴极催化剂层之间的该阴极催化剂层上,以用作防液态水泄漏层。

[0052] 应注意,某些裂缝和孔可具有彼此尺寸不同的长度、宽度和深度。根据本发明,这些裂缝和孔应当这样组合:它们不允许液态水 (和 / 或燃料溶液) 经过孔和裂缝。给出 (在

0.001-5 微米之间,优选在 0.01-0.5 微米之间的)特定尺寸以描述圆形孔的优选直径。

[0053] 当在氢燃料电池中利用质子传导膜时,发生同样的液态水泄漏。在此情况中可采用相同的装置以减少或阻挡液态水通过阴极的泄漏。

[0054] 防液态水泄漏阴极和完整燃料电池的制备

[0055] 像在 WO 01/54216 中描述的那样制备膜电极组件 (MEAs)。用于防液态水泄漏层的材料是由 10-50% w/w PVDF 或 Teflon 构成的膏状物,或者可以由氟聚物和全氟聚合物 (优选 20-40%)、50-90w/w (优选 60-80w/w) 碳粉末如 Black Pearl 2000、XC72、Shawingan black 及其各种混合物、以及 0-80% v/v (优选 60% v/v) 成孔剂如碳酸丙烯 (PC) 或乙二醇 (EG) 构成。

[0056] 利用塑料刀或软纸,将膏状物嵌入 Toray 纸 (5% -50% w/w 防湿,优选 20%) 的孔中以形成在 Toray 纸内部的层,封闭其表面。进行几次这样的膏状嵌入。把各层放置以晾干约 30 分钟,然后用干和清洁的布纸擦拭。为了获得 5-50 微米厚的均匀涂覆,需要多至 5-7 层的防漏材料。在达到了令人满意的结构之后,将具有防漏材料的 Toray 纸浸入蒸馏水中约 2 分钟,接着以 150-250°C 固化 0.5-2 小时。

[0057] 该 Toray 碳纸具有内嵌的防液态水泄漏材料并具有 0.5-0.01 微米的孔径,将其上存在催化剂层的该 Toray 碳纸热压成 PCM。

[0058] 作为选择,当厚疏水性阴极催化剂层由小于 3 微米并大于 0.001 微米的孔构成时,该层可用作防液态水泄漏层。

[0059] 按如下方式进行阴极边缘的密封。把 1-3 克的 PVDF (SOLVEY) 与 20-40ml 的丙酮利用磁力搅拌器混合 2-4 小时,由此制成 PVDF 膏,将此 PVDF 膏涂覆在质子传导膜和阴极之间的裂缝 (界面) 上,利用特别细的刷子叠盖 1-2mm 的 (碳纸) 阴极,使薄膜 0.05-0.1mm 厚。通过将该质子传导膜边缘浸渍在 PVDF 膏中,在该膜的外部边缘上施加相同的 PVDF 膏。以此方式,实现了在阴极外围和质子传导膜边缘的完全密封,因而防止或充分减少了水泄漏到阴极外部。

[0060] 可利用这种防漏水阴极组装几种类型的电池。按下述方式装配扁平塑料壳燃料电池:首先将阳极集流体 (图 1A 中的 15) 放置在塑料壳 (在图 1A 中的 10) 中的适当位置。将胶粘剂层 (图 1A 中的 20) 设置在适当位置并放置晾干 15-30 分钟。把 MEA (按上述方式密封它的边缘) 放在阳极集流体上并挤压在阳极集流体之上。提供密封胶结料 (图 1A 中的 21) 以形成叠盖了 1-2mm 的阴极的衬垫区域,一直到塑料壳 10。将 10% -80% w/w Pt 催化剂 (Electrochem hi spec 6000)、10% -40% w/w Nafion (Aldrich 5% Nafion 溶液)、5% -60% 的碳粉末如 Black Pearl 2000、XC72、Shawingan black 或这些碳粉末的各种混合物、以及 0% -80% v/v 的成孔剂如碳酸乙烯 (EC)、碳酸二乙酯 (DEC)、碳酸丙烯 (PC)、乙二醇 (EG) 或它们的混合物进行混合,从而制成阴极油墨 (ink)。作为选择,阴极油墨可由碳支撑的 Pt 制成, Pt 含量在 10-90w/w% 之间。将所有粉末和溶液放入球磨机中并用机械振荡器混合 10-100 分钟。用细刷将获得的油墨涂覆到由上述 Toray 碳纸支撑的防液态水泄漏材料。将油墨层加热到 40-60°C,为了获得 4-6mg/cm² 的 Pt 承载量需要 3-4 层油墨 (在各层之间有 10-20 分钟的烘干时间)。作为选择,阴极催化剂油墨直接涂覆到 PCM 并热压到具有或不具有上述防漏层的 20% 聚四氟乙烯化 (teflonated) 的 Toray 纸上,从而形成厚 10-50 微米的层。

[0061] 用于控制水从燃料电池蒸发的装置

[0062] 在具有防漏水阴极的直接氧化燃料电池 (DOFC) 的工作中,从经验中发现没有水损失,实际上,在某些情况下在阳极室和 / 或燃料溶液中存在水的汇聚。例如当利用甲醇燃料电池中,每摩尔的甲醇 (32 克 / 摩尔) 转化成两摩尔的水 (36 克 / 两摩尔) 和一摩尔离开电池的 CO_2 。当利用有效防止漏水的阴极时,引入阴极的水和在阴极中产生的水通过质子传导膜返回到阳极室,在阳极室或燃料箱中存在水的净增长,没有留下空间来添加燃料,导致不可能用新燃料补充燃料电池。为了让燃料电池重新注入燃料,必须除去一些水使得在燃料箱或阳极室中腾出空间。在通常由阴极中的蒸发去除一些水的同时,在特征在于高湿度或低温自然蒸发的环境中不足以获得所需空间。如果燃料电池进行工作以产生高功率,那么这还会在更通常的环境条件下发生。因此,这表明本发明不仅考虑到防止水从燃料电池的泄漏,而且还考虑到使燃料电池在水平衡条件下进行工作,也就是说,在工作过程中水没有损失或盈余。

[0063] 为了除去过量的水,一种增加从燃料电池中水的去除的方式是通过以足够并受控的速率向阴极的外侧上施加空气流而促进蒸发。如图 2 中所示,这可以利用由燃料电池 23 驱动的风扇或鼓风机 22 进行。最好将此风扇或鼓风机与水量传感器 24 结合,该水量传感器 24 位于阳极室或燃料溶液箱中,当水量 (或燃料溶液量) 升至预定量之上时该传感器 24 自动起动风扇,当水或燃料溶液的量在另一预定值之下时该传感器 24 关闭风扇。

[0064] 根据本发明的另一种控制器系统测量在空气入口和空气出口的湿度、并计算水的损失、连续计算水的产生速率 (根据燃料电池的功率)、测量温度、计算足以蒸发在 DOFC 中形成的水的空气循环速率并以此速率驱动鼓风机。

[0065] 对于介质和高功率应用,本领域的 DOFC 利用空气循环在约 60 至超过 100°C 的温度下工作。利用压缩机,将水从废空气流中收集起来并再循环到水箱中。通过利用与上述蒸发控制相结合的根据本发明的防液态水泄漏阴极,这种水压缩机和再循环系统能够节省或至少减小尺寸、至少降低介质温度和介质功率。

[0066] 用于控制在燃料电池中水压的形成的装置

[0067] 在根据本发明的燃料电池中,通过阳极中生成的质子引起的水的渗透阻力会导致在阴极的催化剂层处的形成不可接受的水压。此压力会导致在高电流密度下催化剂溢流 (flooding) 以及液态水或含水燃料溶液通过防液态水泄漏层释放到阴极外侧。因此需要在工作过程中释放掉施加在阴极上的压力。因此,本发明的燃料电池可装配有用于防止在电池工作过程中在阴极上形成水压的装置。如图 3 所示,这种装置包括能够收集水和燃料溶液的水收集器 25。该水收集器 25 通过管路 27' 连接到排水管 27。排水管 27 让水排出到电池之外。然后,可根据需要通过单独的控制和输送系统 (未示出) 将水引到环境中或返回到燃料溶液箱中。

[0068] 根据本发明的一种实施方式,水收集器 25 是一组压在认为会聚积水的阴极表面上的亲水通道。根据另一实施方式,水收集器 25 是一组亲水纤维,例如棉纤维,这些亲水纤维放在认为会聚积水的位置上。通道或纤维的直径一般在 0.01-0.2mm,它们的间隔约为 0.3-3mm。

[0069] 其中认为会聚积水的精确位置取决于防液态水泄漏层的位置。

[0070] 在采用具有液态酸的 PCM 的情况下,可将薄多孔亲水性层如碳或玻璃提供到水汇

聚的位置上,以用作与图 3 的水收集器不同的液态水收集器。

[0071] 图 4 表示根据图 3 的燃料电池,准备和具有相同结构的其它燃料电池并联地堆叠在一起。在图 4 的燃料电池中,将 MEA 26 夹在前、后层 26A 和 26B 之间。在电池堆的右下角具有燃料入口 28,在其右上角具有氧入口 30。在其左下角,电池堆具有氧出口 31,在其左上角具有燃料出口 29。在电池堆的底部存在排水口 27。可通过由氧入口 30 的空气循环速率控制蒸发速率,可通过排水口 27 释放水压。

[0072] 钝化和活性空气控制系统:

[0073] 如上所述,在根据本发明的燃料电池中出现水损失的一个原因是由阴极释放的水蒸汽扩散到空气或氧流动区域中。在扁平电池中有穿孔集流体或覆盖了背底层的穿孔板。在此集流体中孔的数量和尺寸影响电池功率和水蒸发速率。孔越大、数量越多,水蒸发的速率越快。电池功率增加,一直到孔的特定尺寸和数量。但随着孔径和数量的进一步增加,功率不再增加,而是增加了通过蒸发损失的水量。

[0074] 随着温度和在阴极上的空气流速的增加以及空气湿度的降低,增加了通过蒸发失水的速率。在此将“W”系数定义为在损失到空气中水的摩尔数与在电池反应中消耗的燃料的摩尔数之间的比率。我们把“H”系数定义为在从阴极释放到空气的水的摩尔数与从阳极经过质子传导膜转移到阴极的质子的摩尔数之间的比率。

[0075] 在一个甲醇分子的氧化过程中,形成两个水分子,六个质子从阳极侧通过质子传导膜转移到阴极侧。因而在水平衡工作条件下, $W = 2, H = 1/3$ (或 $2/6$)。这表示水损失的速率等于在电池反应中生成水的速率,在电池中不存在水的净损失,不需要向电池中加水。因此将燃料电池设计为 $H = 1/3$ 和 $W = 2$ 是至关重要的,在这种情况下仅需要加燃料,节省了重量和体积。然而,如果 W 大于 2 或 H 大于 $1/3$,必须将水加入电池中,如果 W 小于 2 或 H 小于 $1/3$,需要从燃料电池中除去水。对于氢而言,消耗一分子的氢,形成一分子的水(这表示,在水平衡工作条件下, $W = 1, H = 1/2$),考虑的因素是类似的,这样在平衡的水工作条件下,消耗每摩尔的氢,需要去除一摩尔的水。对于其它燃料,像乙二醇和草酸二甲酯,必须根据电池反应计算 H 和 W 。

[0076] 通过利用根据本发明的防漏阴极和静止(static)空气,可以通过控制在阴极集流体中孔的尺寸和数量来控制通过蒸发损失的水。利用图 5 中所示的防漏阴极 52、钝态空气和包括覆盖穿孔阴极集流体 53 的穿孔板 54(选择性的)的湿度控制系统,就可以使甲醇燃料电池在室温下工作,从而使 W 从 8 减小至小于 1, H 从 1.5 到接近于零,可以忽略对电池功率的影响。这可以通过将(阴极集流体层的或穿孔板的)孔的直径从 5mm 减小到 1mm 而实现。在原有技术的甲醇燃料中,所测出的参数 H 为 2.9(X. Ren 和 S. Gottesfield, J. Electrochem. Soc. 148, A87-A90 (2001))。这表示在原有技术的甲醇燃料电池中,每个经过质子传导膜的质子必须将 2.9 个水分子加入电池,而采用根据本发明的电池,只需加入少量水或不加水。因此,原有技术的甲醇燃料电池包括大水箱,而根据本发明不需要此大水箱,根据原有技术的甲醇燃料电池比根据本发明的甲醇燃料电池更大、更重。

[0077] 另一种控制水蒸发的方式是向阴极的空气侧添加大的多孔亲水性基质,该基质含有将空气有效地透过阴极的孔。在本发明中已经对具有下述特征的多孔层进行了测试:该多孔层覆盖阴极、每平方厘米的阴极具有 0.5-10 个孔、每一平方厘米的总孔面积为 0.2-70 平方毫米。孔的总面积越小,所测量的 W 和 H 系数越小。

[0078] 另一种控制由于蒸发引起水损失的速率的方式是在阴极集流体中或在覆盖阴极的特定金属或塑料板中设置尺寸可变的孔。这可以通过一组板实现,该组板具有用作空气传送装置的孔并且该组板彼此相对滑动,一个板是固定的,另一个是可移动的。孔开口从当板中的孔完全重叠时的最大开口状态变化至完全封闭。

[0079] 如图 6 所示,活性 (active) 空气和湿度控制系统包括空气传送装置,该装置包括固定板 65,在固定板 65 中打了多排通气孔 BH_1 。可相对于固定板 65 滑动的是具有通气孔 BH_2 的可移动板 66,该可移动板 66 可从其中在可移动板中的通气孔与在固定板中的通气孔重合以提供最大空气流的位置移动到其中在各板中的孔相互不重合以切断空气流的位置。实际上,固定板可以是中空的,以形成将可移动板插入其中的管路。

[0080] 空气传输装置的两个板的相对位置由控制器所控制。例如一种类型的控制器由气缸构成,气缸的活塞由调节成空气温度的液态蒸汽操作,操作方式为:在低温下气缸的活塞完全打开,在升高的温度下活塞基本上关闭。或者空气传输装置可由微型伺服系统、继电器或压电器件 67 操作。此器件 67 由控制器 68 启动,所述控制器 68 由来自传感器的信号控制,传感器位于燃料箱或阴极室(未示出)中监测水位。当水位超过临界值时它打开通气孔;当水低于预定水位时,在燃料电池工作时它使得打开程度最小。

[0081] 在如图 7 所示的钝态空气控制器中,通气孔的直径为 0.5-5mm,薄的湿度传感多孔基质 70 放置在通气孔板 69 上。根据空气湿度,根据空气湿度,基质 70 改变其孔径,即,当空气湿度高时,孔径增加至允许蒸汽经过。

[0082] 燃料-蒸汽平衡:

[0083] 在非堆叠型的直接氧化燃料电池系统中,相邻的电池具有共用壁或它们的燃料箱具有共用壁,在这种系统中需要平衡在系统中挥发性燃料的浓度。

[0084] 下述布置可用于甲醇浓度平衡。

[0085] 燃料箱(或电池的阳极室)彼此相邻的构成,具有共用壁(一前一后或并排构成)。此共用壁在液位之上具有一个或多个孔,这些孔优选由多孔疏水性非导电膜覆盖。

[0086] 该膜由绝缘材料制成并且仅能透过燃料和水蒸汽,但不能透过含水溶液,以便有助于在液体上达到气相平衡。

[0087] 这用于平衡在相邻电池的燃料箱中或阳极室中甲醇(或其它挥发性燃料)的浓度。利用这种浓度平衡装置,可以利用管路向多个电池 DOFC 系统中输送水和燃料,对于各个电池不需要具有单个供应线路。

[0088] 利用电极配置的液位检测器:

[0089] 当 DOFC 用于给其位置不固定的器具提供能量时,希望能独立于器具的位置检测液(例如,水、燃料、燃料溶液或酸)位。当采用便携式电话或其它便携式装置时,其位置会频繁改变,电话会在包括倒置的所有位置上使用。正如前面注意到的,当液位降至特定值以下时,就需要向阳极室中输送液体。或当液位高于特定值时,就需要起动鼓风机。因此,需要液位检测器来检测液位,优选独立于液体容器在空间中的取向。这种检测器由本发明提供,其特征在于具有电极布置,优选包括至少四个电极。这些电极以空间间隔的关系设置在容器中,从而与容器(箱)的内部空间接触,这样它们能够在箱中的不同平面内(液位)检测出箱中液体的有/无。

[0090] 如图 8 所列举出的那样,采用以六面封闭结构形式(盒子)的含液箱,电极布置包

括四个电极 E_1-E_4 , 将这四个电极分别设置成接近于盒子的不同角, 这样六个可能的电压差分别允许在六个不同的液位检测出液体的有无。每两个电极位于向盒子的任意一面倾斜的一条直线上。在此具体实施例中, 以下述方式限定各电极的位置 (图中仅示出一个电极 E_3)。该电极距各角 C_3 的距离为 a 和 c , 其中距离 a 和 c 满足以下关系: $a/(a+b)$ 在 0.1 和 0.4 之间变化, $c = 0.1-0.5z$, 其中 $(a+b)$ 和 z 是盒子各面的尺寸, 如图中所示。对在由各电极对限定的高度处介质的电阻进行定时的或连续的测量, 当在一个或多个高度检测出电阻 (从特定参考值) 变化时, 就表明液位降低。如果液位必须保持在预定值以下, 那么至少一对电极必须表现出由专门预设的阈值限定的高电阻。

[0091] 当采用便携式电话时暴露于 RF 减少:

[0092] 只要暴露于辐射, 无论辐射能来自放射性 X-射线或微波源都具有严重后果。反复暴露于这种辐射具有累积的影响, 可能致癌。因此所关心的是便携式电话, 从便携式电话的天线发出微波能量, 天线紧挨着电话使用者的头部。为了减少这种微波辐射的严重影响, 根据本发明通过 DOFC 驱动便携式电话。

[0093] 通过在便携式电话接近于头部的一侧上设置 DOFC 和其燃料和水箱, 使得有害暴露明显减少, 这是因为微波能量至少部分地由在 DOFC 中的水和燃料吸收。

[0094] 实施例 1

[0095] 由合成石墨板 (Globetech 有限公司) 制造燃料电池容器, 在石墨板中刻有平行流场。利用涂布在未四氟乙烯化的 Toray 纸上的 Pt-Ru 油墨制备阳极。油墨组分是 94.5wt% 的 Pt-Ru 粉末 (Johnson Matthey)、2.5wt% 的 XC-72 碳粉末、1.5% 的 PVDF 和 1.5% 的 SiO_2 。添加体积比 50% 的乙二醇。以 $24kg/cm^2$ 、在 $100^\circ C$ 对 PCM 热压 60 秒, 达到 $120\mu m$ 的最终厚度, 并浸入水中。将 73wt% 的 Pt 粉末、10% 的 XC-72 碳粉末和 17% 的 Nafion 溶液与 50-v/v% 的乙二醇在球磨机中混合 65 分钟, 制成阴极油墨。

[0096] MEA 制备: 将 $100\mu m$ 厚的聚四氟乙烯衬垫放在不锈钢板上。将阳极浸入水中; 擦去过量的水, 将阳极固定在适当大小 ($20mm * 25mm$) 的衬垫窗口中。将 PCM 放在阳极上 (在擦去过量的水之后)。另一个相同的聚四氟乙烯衬垫放在 PCM 上, 与第一个对齐, 用粘结带固定到不锈钢板上。将阴极催化剂油墨经过衬垫窗口涂覆在质子传导膜上, 获得了可用作液态水阻挡层的厚疏水性催化剂层。将一片 20wt% 的防水 Toray 纸裁成窗口大小并放在湿的阴极催化剂层上, 该阴极催化剂层没有大于 $0.5\mu m$ 的孔或裂缝。作为选择, 阴极油墨涂布在具有内嵌的防液态水泄漏层 (如前面所述) 的 20% 防水 Toray 纸上。该防漏层没有大于 $0.5\mu m$ 的孔或裂缝。将第二不锈钢板放在第二衬垫上。以 $0.5-24kg/cm^2$ 的压力、在 $100^\circ C$ 对该组件加压 120 秒, 然后将 MEA 浸入水中 60 秒、重新加压 120 秒。将 MEA 在低负载 ($< 0.5kg/cm^2$) 下放置冷却至室温。将 PVDF 的丙酮溶液分布在 Toray 纸和在 MEA 的阴极侧上的 Teflon 衬垫之间的裂缝上, 以防液态水泄漏。然后将 MEA 浸入水中直到组装成完整的电池。

[0097] 在 5 平方厘米的电池中循环 1M 的甲醇溶液和 3M 的硫酸, 同时在 $150mA/cm^2$ 的恒定电流下进行放电。氧通过阴极循环。在氧的出口, 安装含有 Dryerite (无水 $CaSO_4$) 的 U 形玻璃管, 以便利用气流吸收露在电池外部的水。电池在 $60^\circ C$ 或 $80^\circ C$ 、在环境压力至 3Atm、以 7-240scc/min 的流速进行工作。W 系数定义为在排出阴极出口的水的摩尔数 (在玻璃管中收集到的) 与在电池反应中消耗的甲醇的摩尔数之间的比率。在水平衡条件下 W 的最佳值

为 2。H 是在经过质子传导膜的水的摩尔数与在阳极反应中产生的质子的摩尔数之间的比率 - 在水平衡条件下的最佳值为零。W 和 H 值（校正为跨接（crossover）电流）概括于表 1 中：

[0098] 表 1：在 60℃ 和 80℃、氧流动速率对 W 和 H 的影响

水流量 [gr/cm ² ×h]	电容量 [Ah]	氧流速 [scc/min]	温度 [°C]	W 系数	H
- 0.033	1.24	13	60	1.00	-0.33
0.023	0.875	32		4.36	0.23
0.116	1.5	85		9.92	1.15
0.144	1.16	151		11.6	1.43
- 0.03	0.81244	7	80	1.4	-0.27
0.01	0.872	10		3.6	0.098
0.096	0.631	25		8.96	1
0.279	0.5	78		19.6	2.77
- 0.049	0.669	15 (3Atm)		0.3	-0.45
-0.025	1.144	21 (3Atm)		1.56	-0.24
0.0004	0.871	25 (3Atm)		3.2	0.004
0.044	0.84	90 (3Atm)		5.80	0.47
0.163	0.657	240 (3Atm)		12.9	1.65

[0100] *几个测量结果的平均值

[0101] 可以看出，正如所希望的那样，W 随氧流速增加。然而，在低流速下，W 低于 2，即，H 具有负值。这表示在这些条件下，水从阴极通过 PCM 流回到阳极。很显然，通过控制氧的流速，可以影响 W 和 H，这样就可以找到 W = 2 和 H = 0 的情况并用于在水平衡条件下进行工作。通过测量在阳极室或燃料箱中的水位，确定水的不足或过剩，可控制鼓风机（或其它装置）的速度以根据需要除去水。这样会节省水箱的体积和重量，使燃料电池的体积更小、重量更轻。

[0102] 图 9 表示出在相同条件下 (Journal of Electrochemical Society, 148(1)A87, 2001)、本发明的燃料电池与 Gottesfeld 等人来自 Los Alamos National Laboratory (LANL) 的燃料电池进行对照的试验结果。

[0103] 实施例 2

[0104] 以 Nafion 膜为基础、按照与前述实施例相同的方式构成燃料电池。阳极组分是 85% 的 Pt-Ru 粉末和 15% 的 Nafion。以与实施例 1 相同的方式制备阴极油墨。以与前述实施例所描述的相同方式制备 MEA，并以 130℃ 热压。

[0105] 1M 甲醇溶液经由在 60℃、3Atm 的压力、和 7-240scc/min 的流速下工作的 5 平方厘米的电池进行循环。在氧出口处（如上所述）收集水并计算 W- 系数和 H。所获得的 H 值高于利用 PCM- 基电池所获得的值，但低于对于 LANL Nafion- 基电池在图 9 中所描述的值（S. Gottesfeld 等人，Journal of Electrochemical Society, 148(1)A87, 2001）。

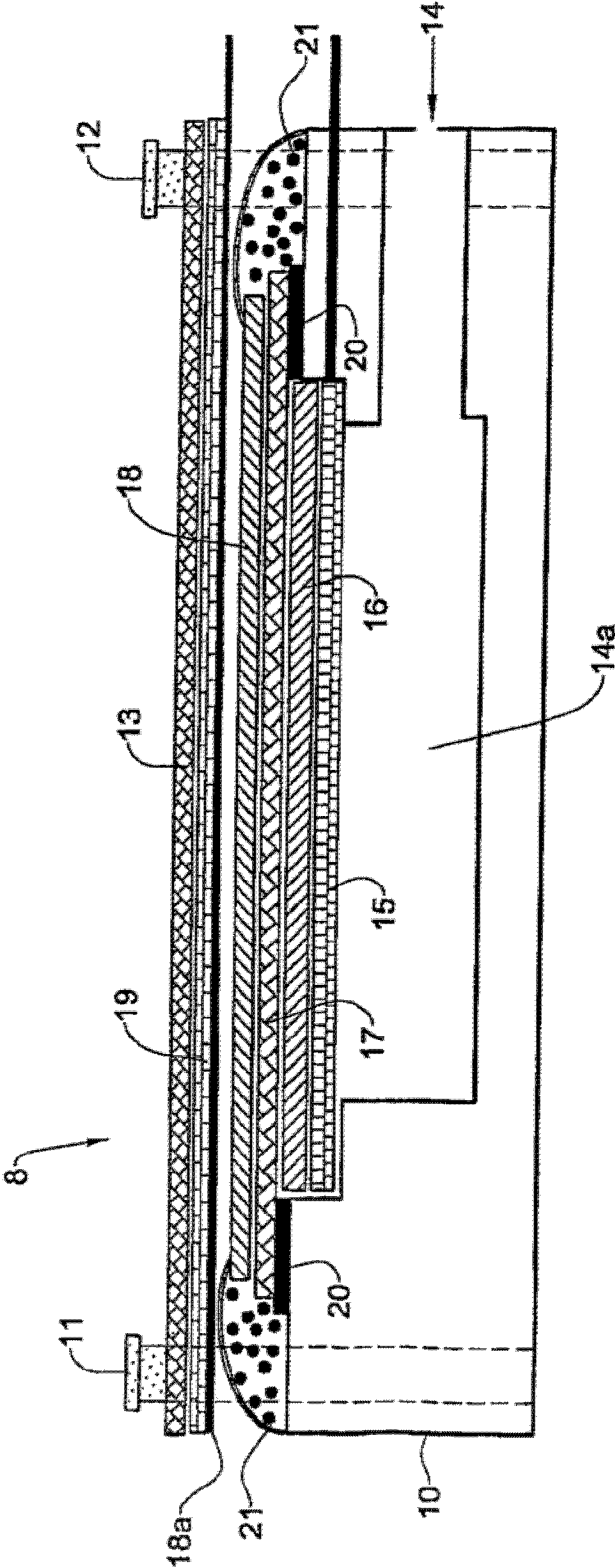


图 1A

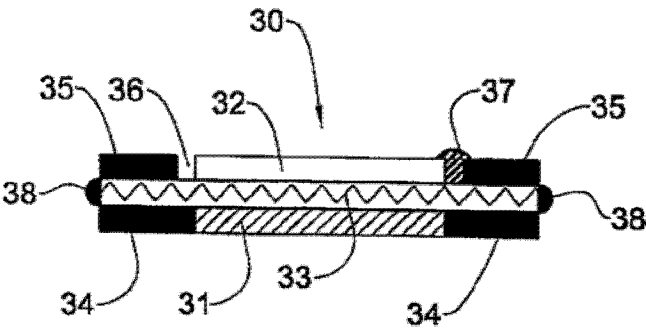


图 1B

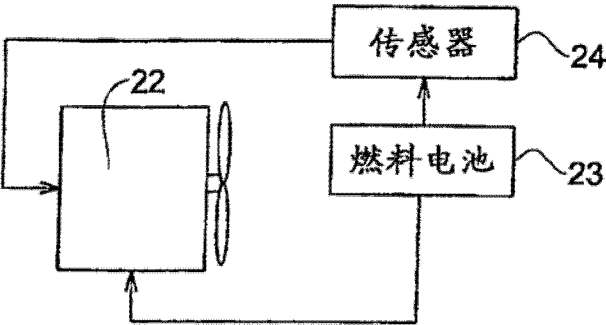


图 2

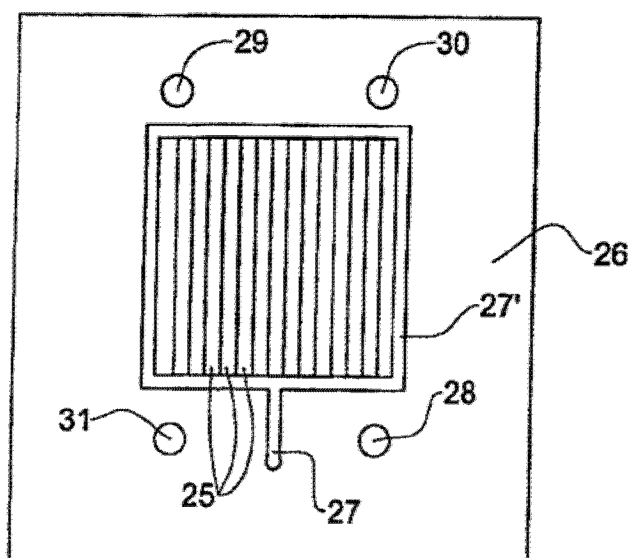


图 3

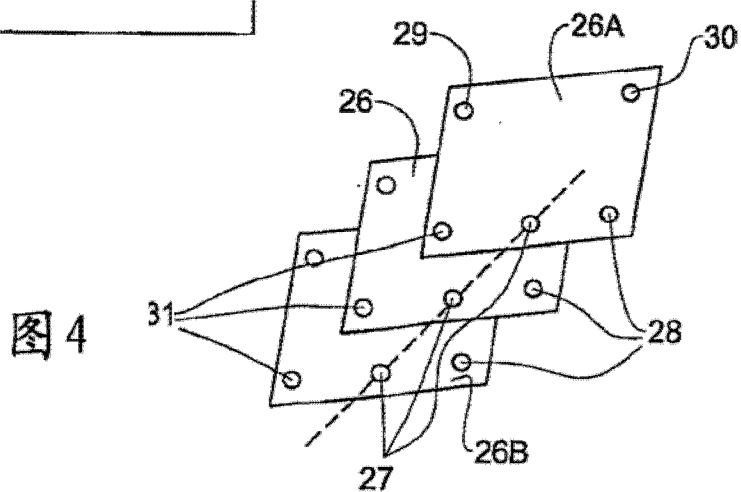


图 4

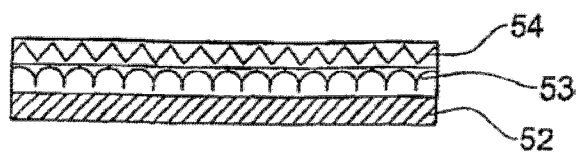


图 5

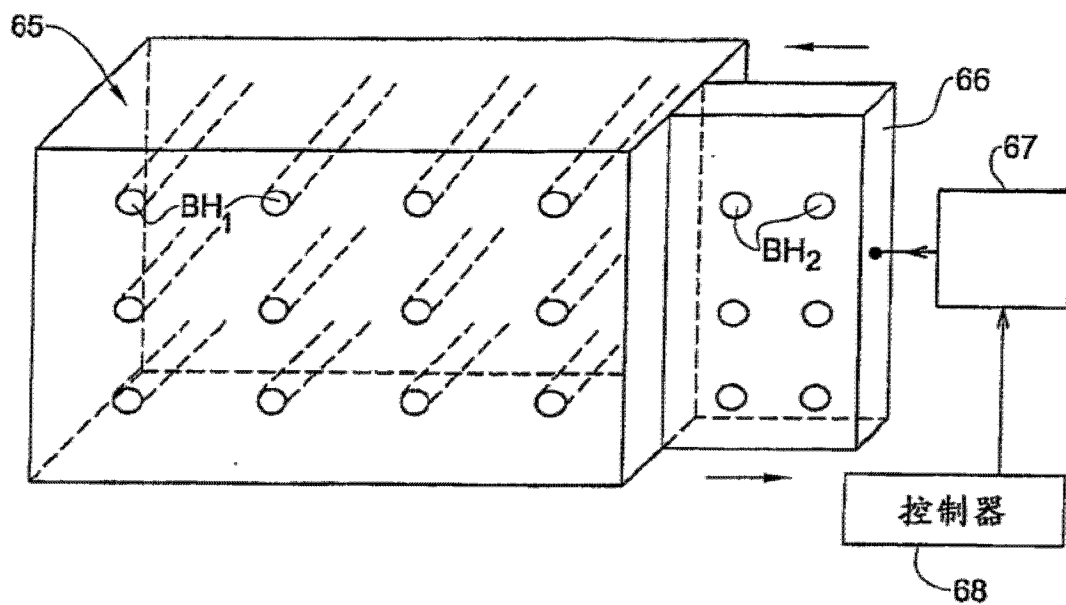


图 6

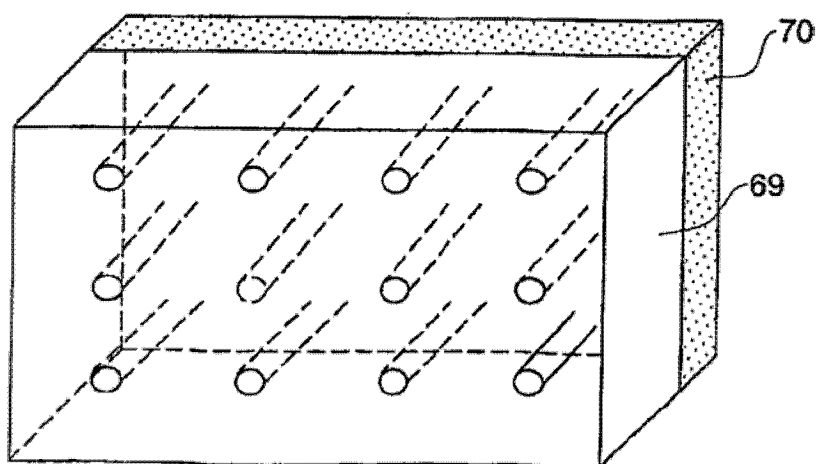


图 7

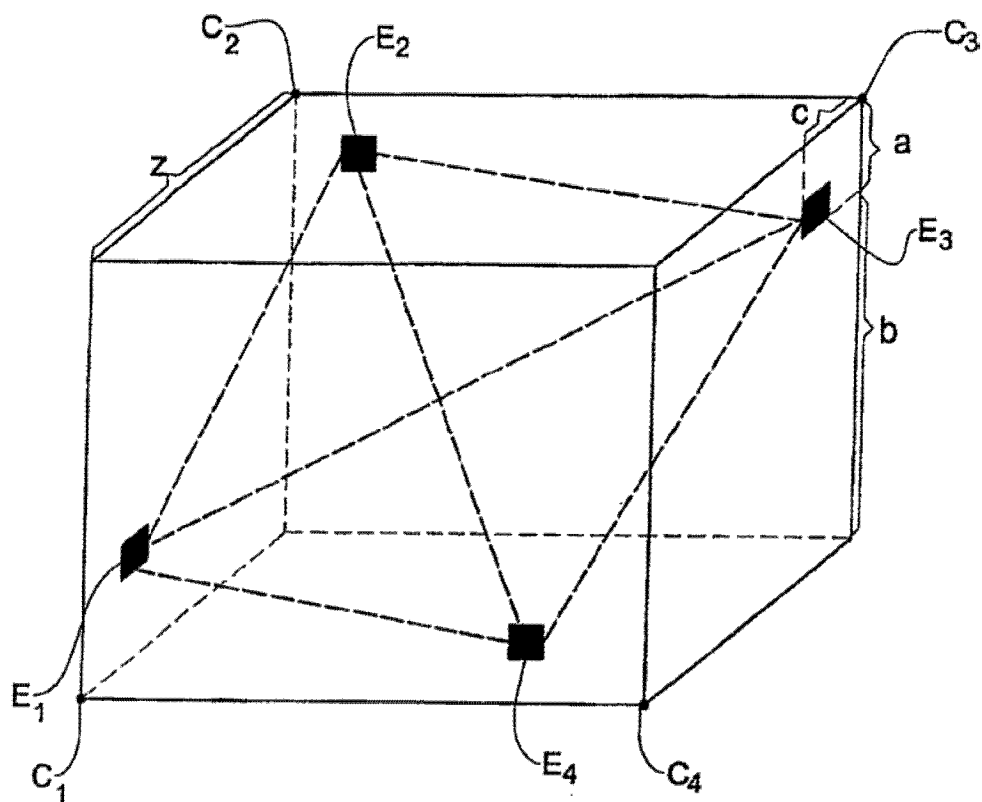


图 8

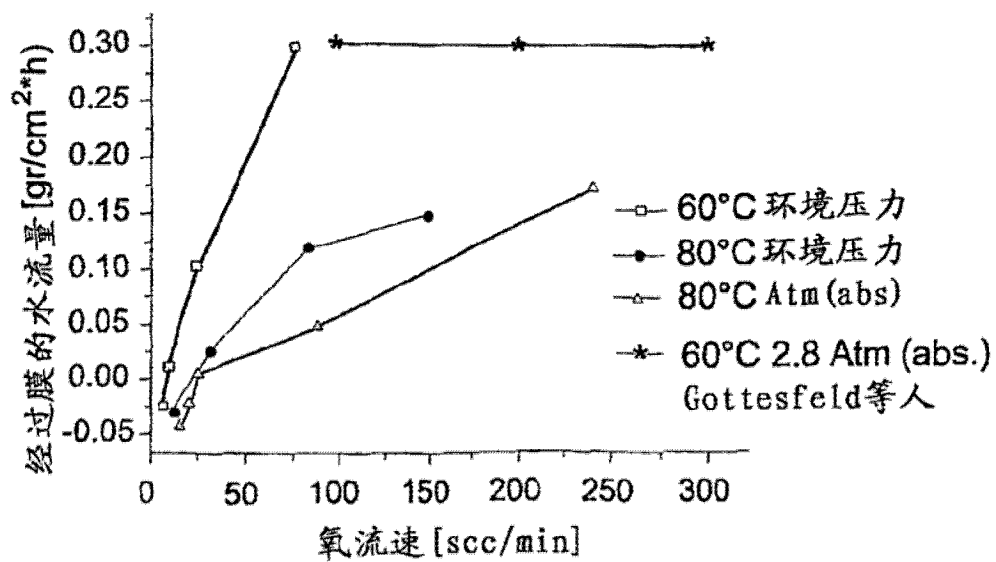


图 9